


Soil Model Verification 模块的应用案例

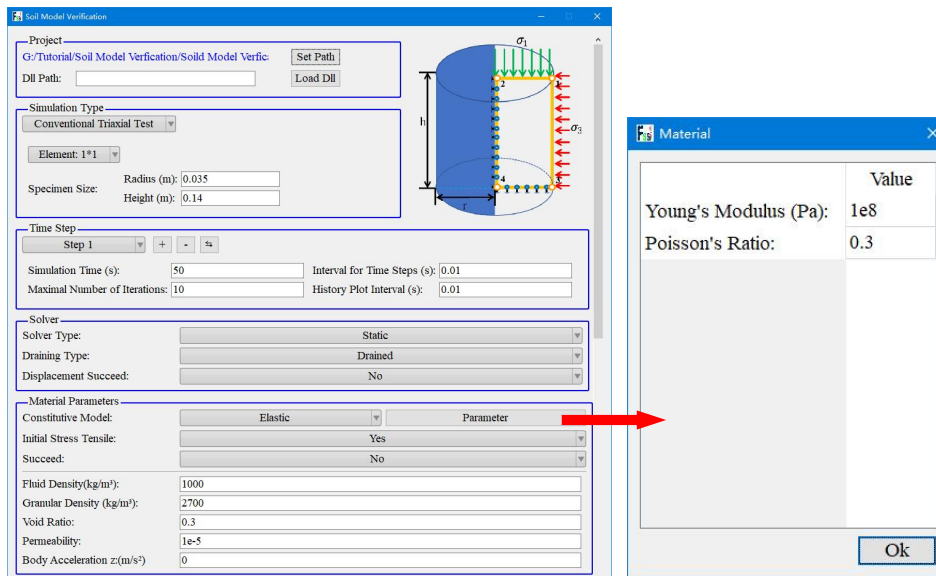
通过 Soil Model Verification 功能模拟室内三轴试验，不仅可以验证本构模型的正确性，而且可以用于标定本构模型涉及的相关参。本章案例介绍了静态加载条件下修正剑桥 Modified Cambridge Soil、Pastor-Zienkiewicz III 本构模型的验证过程。为了真实室内试验过程保持一致，本章案例设置了固结时间步 Step 1 和加载时间步 Step 2 两个时间步。

1.1 修正剑桥本构模型静态排水三轴试验

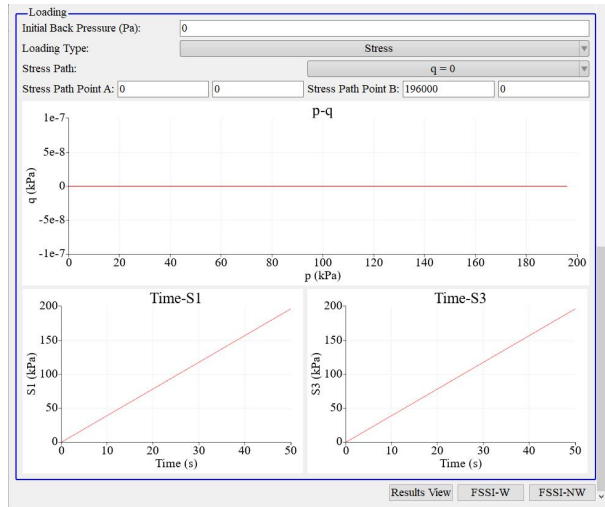
1.1.1 设置固结时间步 Step 1

为了计算初始固结状态，设置 Step1。首先，点击图标，打开 Soil Model Verification 界面。在 Step 1 工作界面下，点击 Set Path 按钮，设置文件保存路径。FssiCAS 求解器类型选择静态求解器，排水类型选择排水，本构模型选择弹性本构，固结围压设置为 196kPa，本构参数及其它参数设置详见图 6-1。

注：Soil Model Verification 模块推荐使用静态求解器。



(a) Step 1 中弹性材料参数设置



(b) 显示 Step 1 应力边界

图 6-1 Step 1 中修正剑桥模型材料参数设置及应力边界显示

1.1.2 设置静态三轴加载时间步 Step 2

点击 Time Step 栏里的 **+**，命名新添加的时间步 Step 2，如图 6-2 所示。

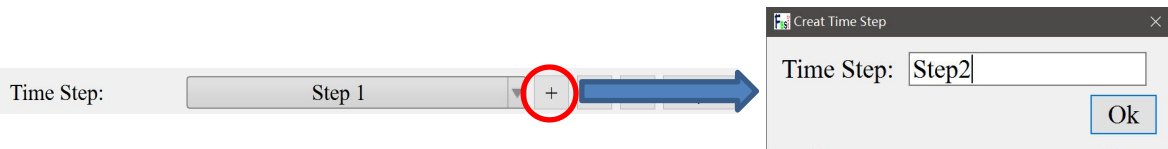


图 6-2 增加并命名计算步 Step 2

在 Step 2 工作界面下，求解器类型选择静态求解器，排水类型选择排水，本构类型选择修正剑桥本构 Modified Cambridge Soil，本构参数及其它参数设置详见图 6-3。

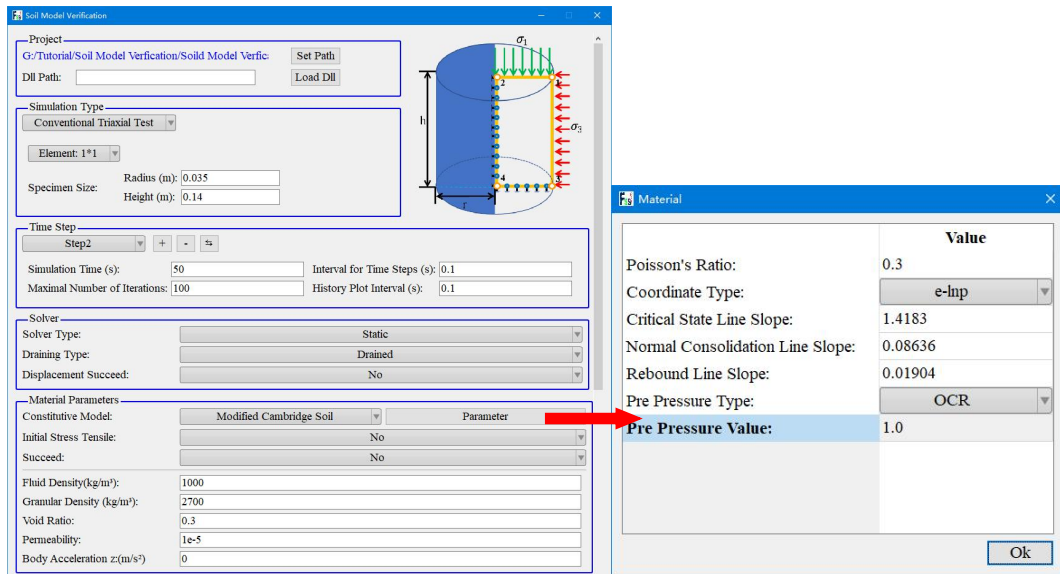


图 6-3 Step 2 中修正剑桥模型材料参数设置

1.1.3 计算与后处理过程

所有参数设置完毕后，点击 FSSI-W 按钮，保存当前项目并开始计算。如果需要执行用户自己编写或修改的计算文件，则需选择 FSSI-NW 进行计算。计算完成时，Monitor 界面显示如图 6-4 红框所示内容。

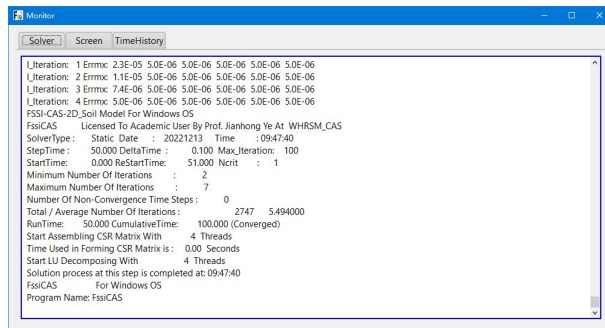


图 6-4 数值计算完成显示结果

进行数值计算的过程中，软件会及时展示计算结果。为方便用户及时了解本构模型的验证结果，FssiCAS 提供了 7 种常见的结果曲线，分别为：广义剪应力-轴向应变曲线、应力路径曲线、

体积应变-轴向应变曲线、孔隙水压力-时间曲线、平均有效应力-时间曲线、孔隙比-时间 q 曲线、轴向位移-时间曲线，具体如图 6-5 所示。

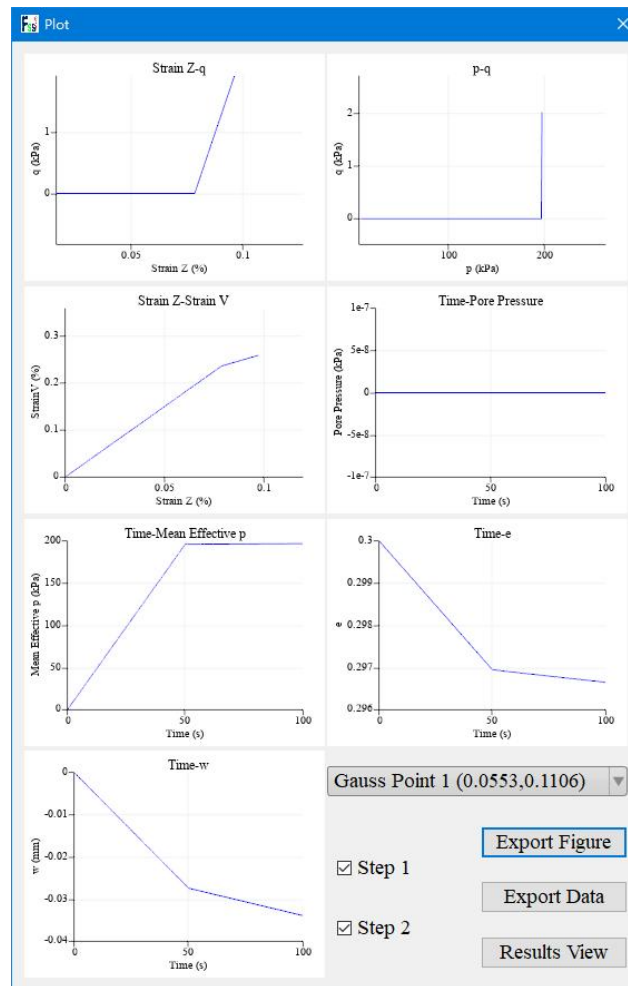


图 6-5 PZ III 修正剑桥静态排水试验结果图界面

注：

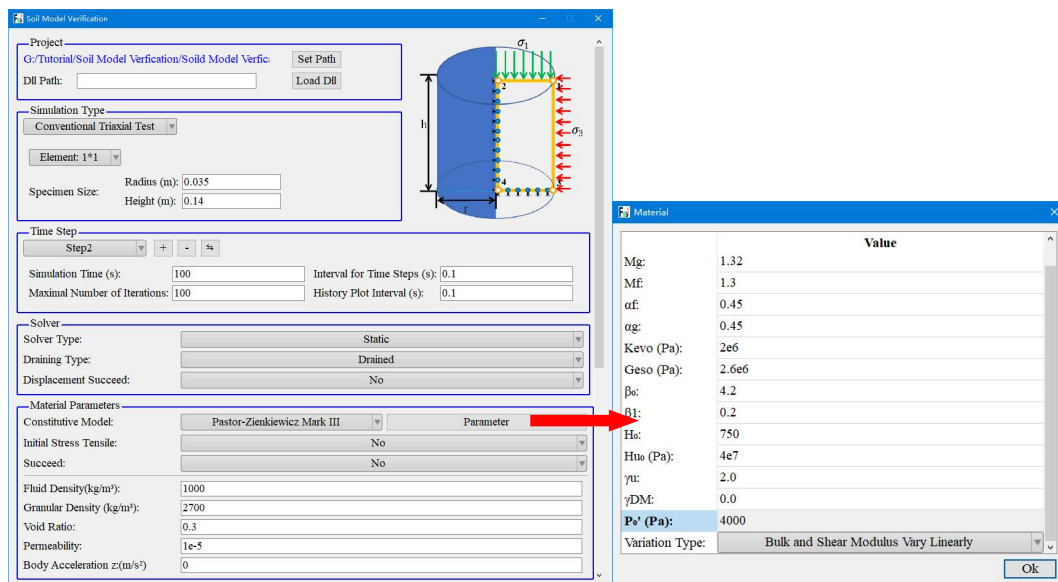
1. 单独勾选 Step 1/2，点击 Results View 可以分别查看单个时间步生成的 7 种结果曲线。
2. 点击高斯点下拉菜单可以查看 Gauss Point 1/2/3/4 中任一高斯点对应结果图。
3. 按住鼠标滚轴，框选 7 种结果图的局部位置可以放大所选区域，点击 Results View 按钮会还原放大的图像。
4. 用户可以根据需要，从 7 种结果图中选择相应图像与试验结果进行对比，从而标定本构参数。

1.2 Pastor-Zienkiewicz III 静态排水三轴试验

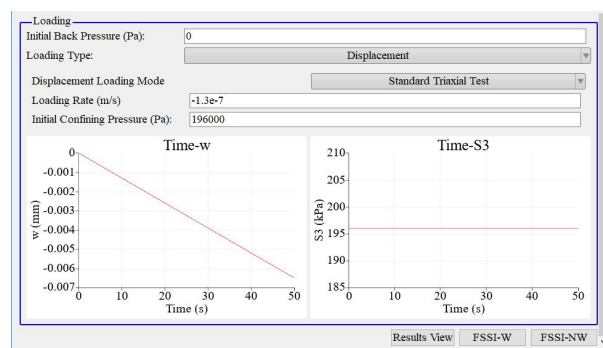
Pastor-Zienkiewicz III 静态三轴试验的 Step 1 参数设置与上述修正剑桥案例相同，如图 6-1 所示。

1.2.1 设置静态三轴加载时间步 Step 2

在 Step 2 界面下工作，求解器类型选择静态求解器，排水类型选择排水，本构类型选择 Pastor-Zienkiewicz III，加载类型选择位移控制，速度为 $-1.3e^{-7}$ m/s，Pastor-Zienkiewicz III 本构参数及其它参数设置详见图 6-6。



(a) 设置 Step 2 中 Pastor-Zienkiewicz III 模型材料参数



(b) 显示 Step 2 应力边界

图 6-6 Pastor-Zienkiewicz III 模型静态排水试验 Step 2 参数设置及应力边界显示

1.2.2 计算与后处理

所有参数设置完毕后，点击 FSSI-W 按钮，保存当前项目并开始计算。如果需要执行用户自己编写或修改的计算文件，则需选择 FSSI-NW 进行计算。计算完成时，Monitor 界面显示如图 6-7 红框所示所示。数值计算生成的 7 张结果曲线，如图 6-8 所示。

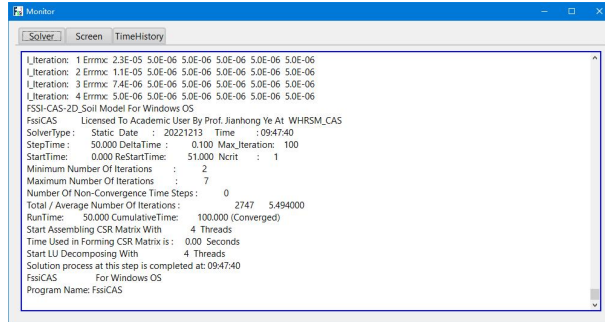


图 6-7 数值计算完成界面

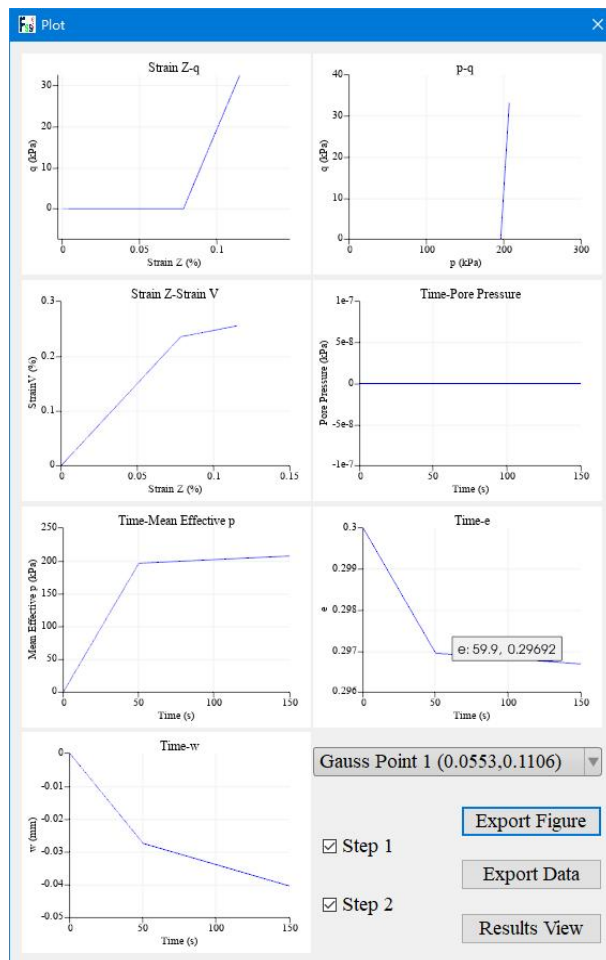


图 6-8 Pastor-Zienkiewicz III 模型静态排水数值试验结果

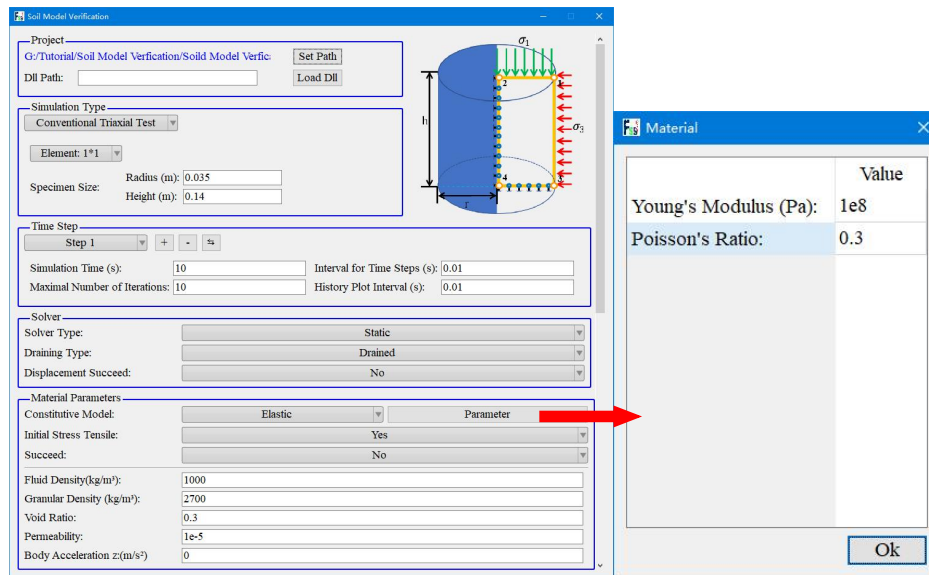
注:

- 1.单独勾选 Step 1/2, 点击 Results View 可以分别查看单个时间步生成的 7 种结果曲线。
- 2.点击高斯点下拉菜单可以查看 Gauss Point 1/2/3/4 中任一高斯点对应结果图。
- 3.按住鼠标滚轴, 框选 7 种结果图的局部位置可以放大所选区域, 点击 Results View 按钮会还原放大的图像。
- 4.用户可以根据需要, 从 7 种结果图中选择相应图像与试验结果进行对比, 从而标定本构参数。

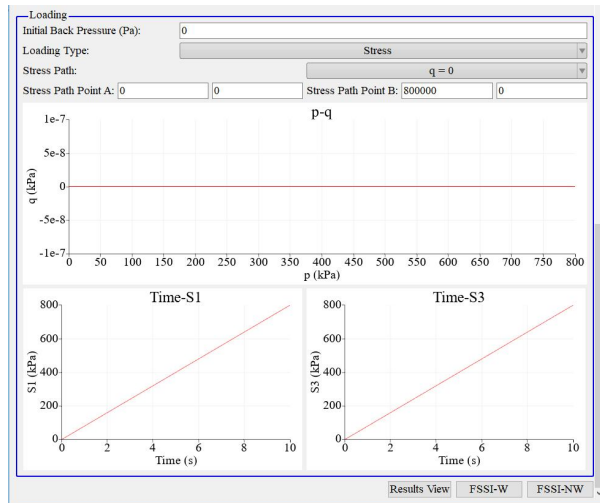
1.3 Pastor-Zienkiewicz Mark III 动态三轴试验

1.3.1 设置动态三轴加载时间步 Step 1

在 Step 1 工作界面下, 求解器类型选择静态求解器, 排水类型选择排水, 本构类型选择弹性本构, 第三主应力大小为 800kPa, 本构参数及其它参数设置详见图 6-9。



(a) 设置 Step 1 中弹性模型材料参数

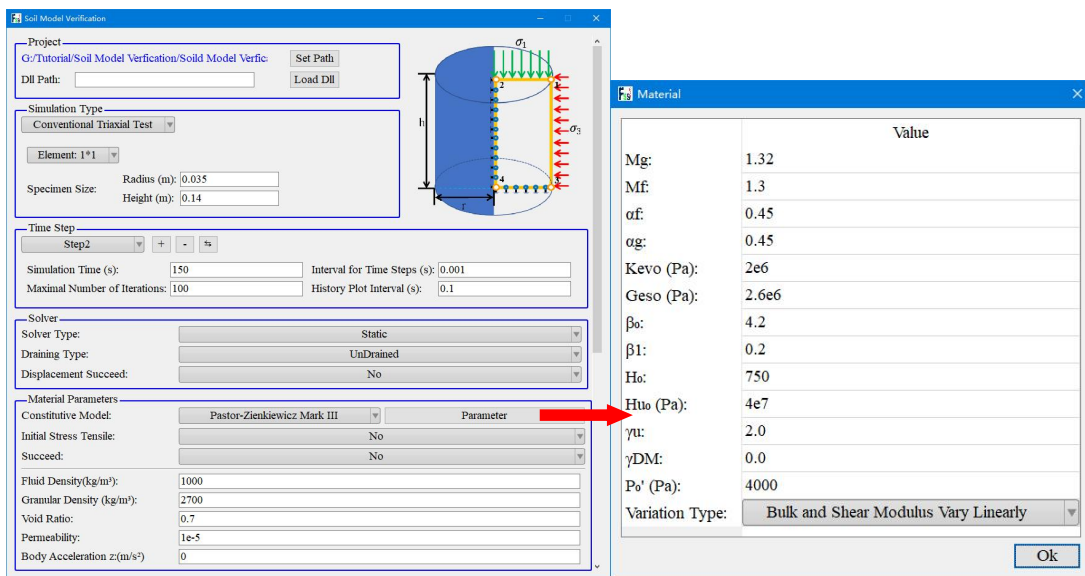


(b) 显示 Step 1 应力边界

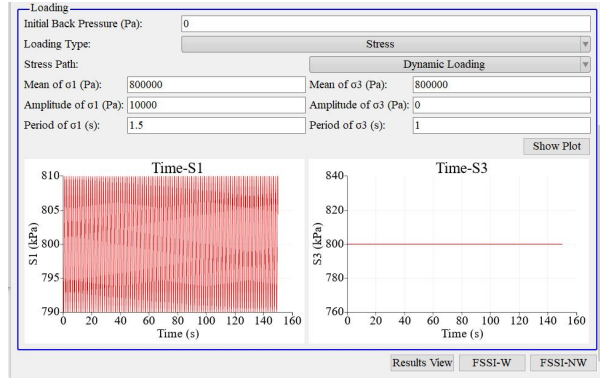
图 6-9 Step 1 中材料参数设置及应力边界显示

1.3.2 设置动态三轴加载时间步 Step 2

在 Step 2 界面下工作，求解器类型为静态求解器，排水类型选择不排水，本构模型选择 Pastor-Zienkiewicz Mark III，加载类型选择动态加载，动态加载的幅值为 10kPa，周期为 1.5s，第三主应力大小为 800kPa。Pastor-Zienkiewicz Mark III 模型参数及其它参数设置见图 6-10。



(a) 设置 Step 2 中 Pastor-Zienkiewicz III 模型材料参数



(b) 显示 Step 2 中应力边界

图 6-10 Step 2 中 Pastor-Zienkiewicz III 模型材料参数设置及应力边界显示

1.3.3 计算与后处理

所有参数设置完毕后，点击 FSSI-W 按钮，保存当前项目并开始计算。如果需要执行用户自己编写或修改的计算文件，则需选择 FSSI-NW 进行计算。计算完成时，Monitor 界面显示如图 6-11 红框所示所示。

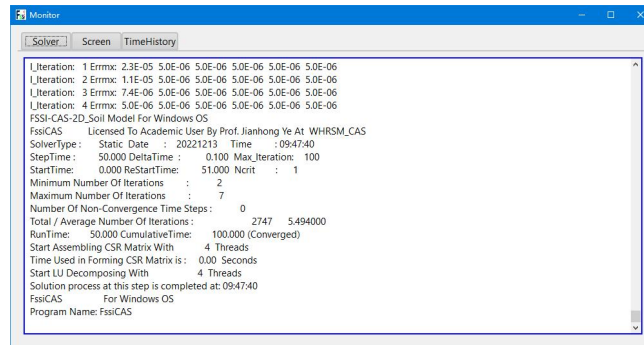


图 6-11 数值计算完成界面

数值计算过程中，自动生成的结果曲线如图 6-12 所示。

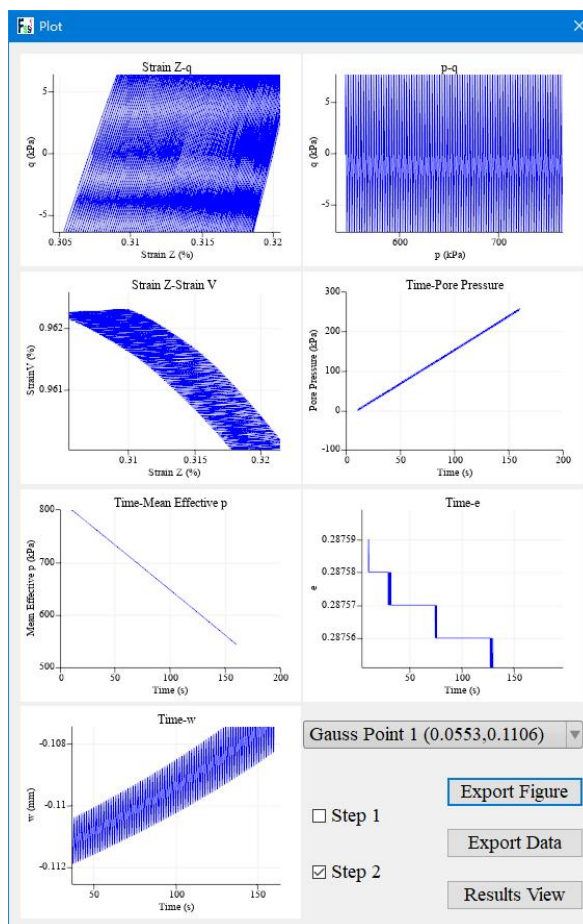


图 6-12 PZ III 动态不排水试验结果曲线

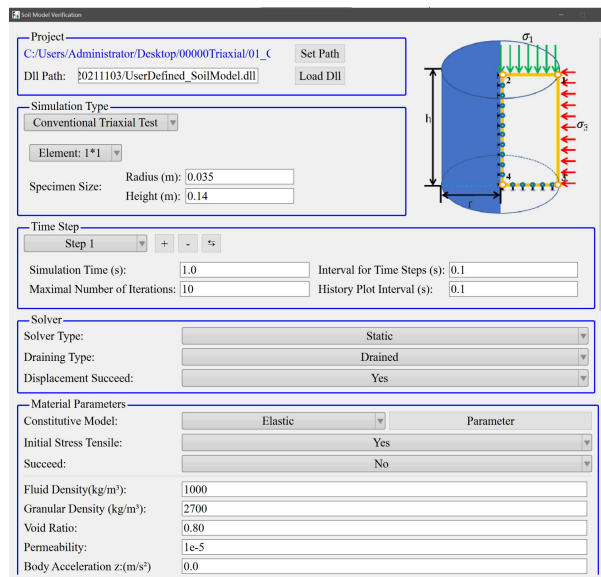
注：

1. 单独勾选 Step 1/2，点击 Results View 可以分别查看单个时间步生成的 7 种曲线。
2. 点击高斯点下拉菜单可以查看 Gauss Point 1/2/3/4 中任一高斯点对应结果图。
3. 按住鼠标滚轴，框选 7 种结果图的局部位置可以放大所选区域，点击 Results View 按钮会还原放大的图像。
4. 用户可以根据需要，从 7 种结果图中选择相应图像与试验结果进行对比，从而标定本构参数。

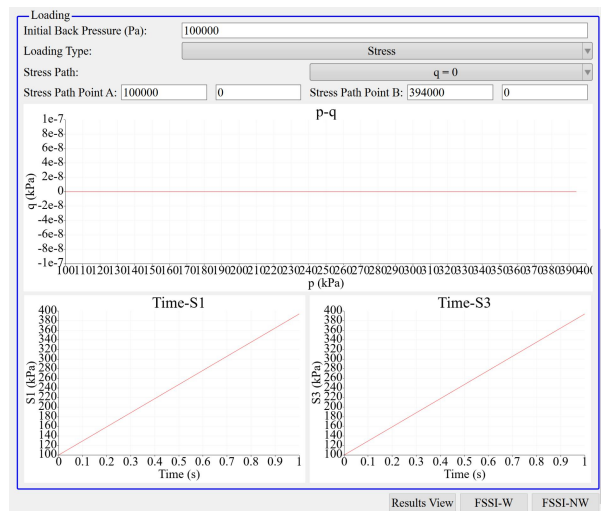
1.4 Cyclic Mobility 模型循环不排水三轴试验

1.4.1 设置初始固结计算步 Step 1

如图 6-13 所示，将反压设置为 100kPa，围压设置为 394kPa，以保证固结完成后试样的初始孔压和有效应力分别为 100kPa 和 294kPa。该阶段本构模型选择弹性（Elastic），计算参数为：弹性模量 100MPa，泊松比 0.30。其余选参数与修正剑桥模型排水三轴试验的固结时间步设置相同。



(a) 设置 Step 1 中弹性模型材料参数



(b) 显示 Step 1 中应力边界

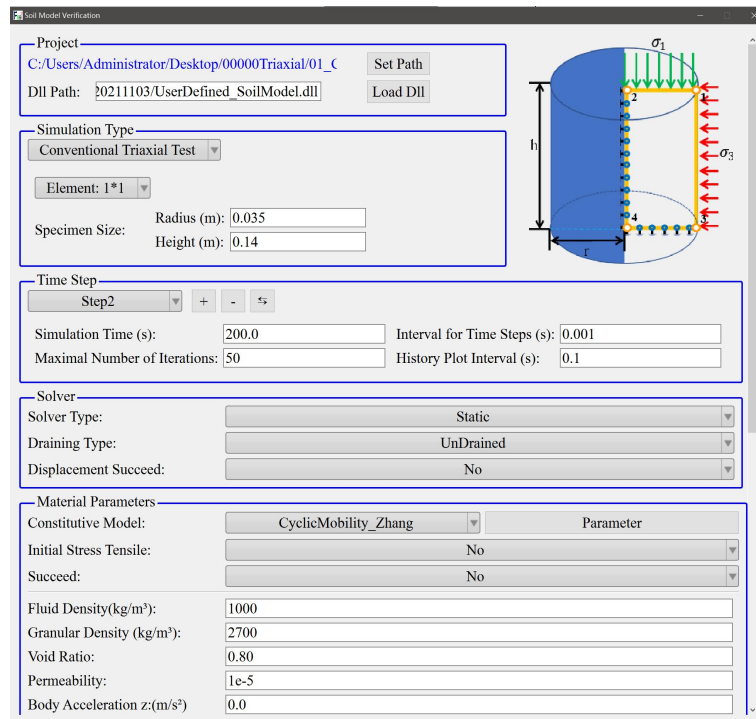
图 6-13 循环不排水三轴试验 Step 1 中 Cyclic Mobility 模型参数设置及应力边界显示

1.4.2 设置动态三轴加载计算步 Step 2

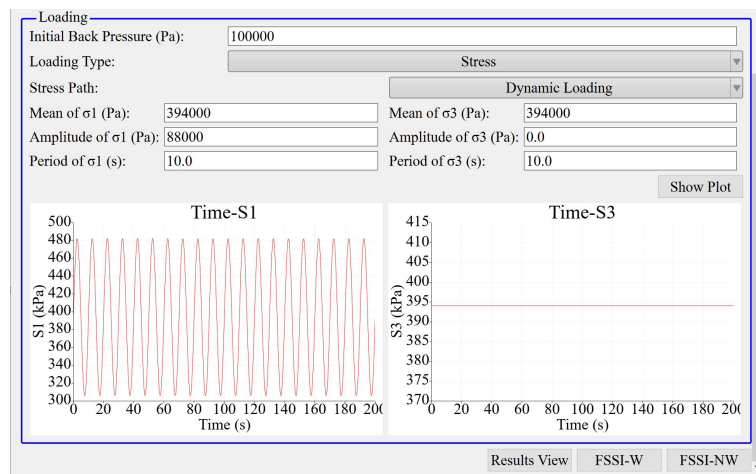
在 Step2 中将排水条件(Draining Type)修改为不排水(Undrained),将加载模式(Loading Type)设置为应力控制 (Stress), 将应力路径 (Stress) 设置为动态加载 (Dynamic Loading), 即可模拟不排水条件下的等应力幅值动三轴试验。对于密实 Toyoura 砂, 本章按照表 6-1 所示的参数进行赋值。动态加载的幅值为 88kPa, 相应的循环应力比为 $CSR=88/294/2=0.15$, 周期为 10.0s, 其它参数设置详见图 10-14。

表 10-5 动三轴试验中 Toyoura 砂 Cyclic Mobility 模型计算参数

参数名称	λ	κ	R_f	e_{ref}	ν	m	a	b_r	R^*	$1/R_0$	ζ_0
参数取值	0.05	0.0064	3.294	0.74	0.3	0.1	2.2	1.5	0.8	5.0	0.0



(a) Step 2 中 Cyclic Mobility 模型计算参数设置



(b) 显示 Step 2 应力边界条件

图 10-14 Step2 中 Cyclic Mobility 模型的材料参数设置及应力边界条件显示

所有参数设置完毕后，点击 FSSI-W 按钮，保存当前项目并开始计算。

1.4.3 计算与后处理

计算得到的 $CSR=0.15$ 条件下 Toyoura 砂的有效应力路径和应力应变关系，分别如图 10-15(a) 和 (b) 所示。可以看出，在循环荷载作用下，试样的有效应力逐渐丧失，变形逐渐增大；液化后剪切荷载作用下试样交替发生流动变形和剪胀硬化，属于典型的循环活动性现象，表明 Cyclic Mobility 模型可以很好地描述砂土的液化行为。

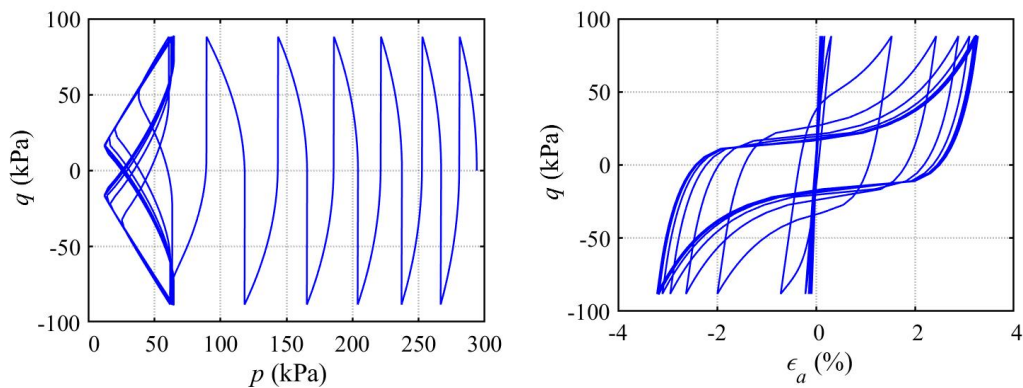


图 10-15 $CSR=0.15$ 条件下 Toyoura 砂的液化行为模拟